

面向工程教育认证的离散数学实验教学改革探索

赵明华 王艳君 陈栋 李美争

河北师范大学计算机与网络空间安全学院, 石家庄 050024

摘要 结合工程教育认证对计算机专业的培养目标和毕业要求, 针对离散数学实验教学环节面临的一系列问题, 从构建分层次的实验教学体系这个纵向维度, 到构建离散数学与专业后续课程相衔接这个横向维度, 探索面向工程教育认证的离散数学实验教学模式的改革, 根据近三年学生评教成绩和课程目标达成度的分析, 该实验教学模式取得了初步成果。为工程教育认证背景下提升理论课程的教学效果, 培养具备实践能力和创新能力的工程人才提供借鉴。

关键字 离散数学, 工程教育认证, 实验教学, 课程体系

Exploration of Discrete Mathematics Experimental Teaching Reform for Engineering Education Certification

Minghua Zhao Yanjun Wang Dong Chen Meizheng Li

College of Computer and Cyber Security of Hebei Normal University
Shijiazhuang 050000, China
minghua_zhao@126.com

Abstract—Based on the Training goals and graduation requirements of engineering education certification for computer majors, and aiming at a series of problems in discrete mathematics experiment teaching, this paper explores the reform of discrete mathematics experimental teaching mode for engineering education certification, from the vertical dimension of constructing a hierarchical experimental teaching system to the horizontal dimension of connecting discrete mathematics with subsequent professional courses. According to the analysis of students' teaching evaluation results and the achievement degree of curriculum objectives in the past three years, the experimental teaching model has achieved preliminary results. It provides reference for improving the teaching effectiveness of theory courses and cultivating engineering talents with practical and innovative abilities under the background of new engineering disciplines.

Keywords—Discrete mathematics, Engineering Education Certification, Experimental teaching, Curriculum system

1 引言

工程教育专业认证是一种以培养目标和毕业要求为导向的合格性评价, 2022年6月, 教育部高等教育教学评估中心和中国工程教育专业认证协会发布, 全国计算机类专业有199所学校通过了工程教育认证^[1]。同时, 教育部2021年启动并持续推进计算机专业教育教学改革试点工作, 即“101计划”, 引导人才培养从知识为主转向能力为先, 实现高等教育改革的突破。离散数学作为计划中12门核心课程之一, 是研究离散结构及其相互关系的计算机专业的基础课程, 它不但为数据结构、操作系统、数字逻辑、数据库原理等课程的学习提供必要的数学基础, 而且有助于培养学生的计算思维和对实际问题的建模与分析能力, 为解决复杂工程问题打下基础^[2, 3]。

离散数学课程具有定义定理多、理论性较强、概

念抽象、知识点分散等特点^[4]。在有限的课时限制下, 我校先前的离散数学课程一直延续着“定义-定理-证明”这种纯数学的教学模式, 导致学生意识不到该课程的重要性, 从而缺乏学习兴趣, 严重影响学生实践能力的培养, 学生无法形成专业课程体系等问题^[5]。近几年虽开始探索实验教学环节的引入, 但实践教学的内容和效果没有达到工程认证的要求。因此, 探索实验教学的改革模式, 提高学生的学习积极性, 使学生了解离散数学基础知识的同时培养学生逻辑和计算思维方式, 培养学生将基础理论知识应用于解决复杂工程问题的意识和能力, 提高课程体系的系统化程度成为该课程进行教学改革的重点方向之一^[6]。

2 课程实验教学现状

按照工程教育认证对学生毕业时应该具备的知识、能力和素质的要求, 工科院校越来越重视理论课程的实验教学环节, 并在实验内容设计、实验方式选择等方面进行了有益的探索, 但在实践的过程中仍存在问题。

* **基金资助:** 本文得到河北师范大学 2023 年度教学改革研究与实践项目“新工科背景下计算机专业《离散数学》实验教学改革研究”项目资助 (2023XJJG039)。

2.1 实验内容体现的知识体系碎片化

离散数学课程包括数理逻辑、集合论、代数系统、图论等诸多知识模块，且概念多、理论性强、定义、定理及推论多达上百个。由于内容多且各成一体，实验内容的设计大多是基础验证性实验，学生即使按照要求完成了实验，充其量也只能锻炼编程能力，无法真正体会离散数学知识点在解决实际问题中的应用^[7]。

2.2 缺乏与其他相关课程的关联性

离散数学的课程内容与计算机专业的程序设计、数据结构、操作系统、数字逻辑、数据库原理、组成原理等课程联系紧密并有着继承或延伸的关系。这些课程中的部分知识点存在相似之处，但理论和实验教学中没有将离散数学课程与其他相关课程的知识点链接的环节，学生难以形成完整、系统的课程体系，无法深刻体会离散数学在计算机专业人才培养体系中的地位和作用。

2.3 实验教学模式单一

由于受课时的影响，实践教学主要是通过课后布

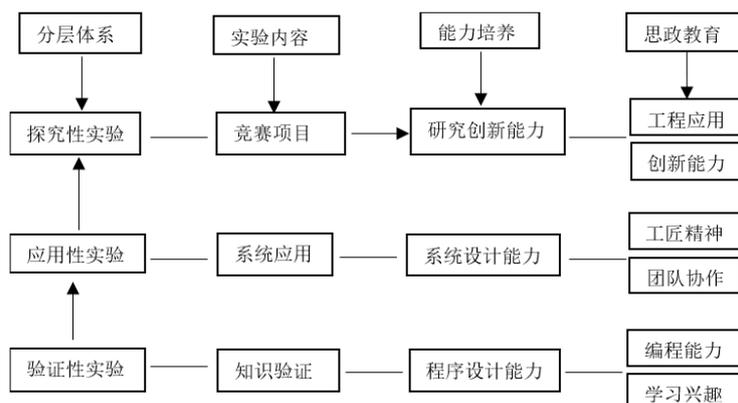


图 1 分层次的实验教学体系

(1) 验证性实验

验证性实验主要针对离散数学的基本知识和基础理论设计算法并编写程序，验证性实验每个学生必须独立完成。通过实验将抽象的理论知识与程序设计课所学的编程技能结合起来，能提高学生学习理论知识的积极性，增强学生解决实际问题的信心，进而培养学生计算思维和工程实践能力。

(2) 应用性实验

应用型实验主要是围绕离散数学基本知识点在计算机专业的应用，深入挖掘离散数学与计算机网络、数据结构、数据库原理、数字逻辑等计算机相关课程相似的知识点，设计出需要多门课程相结合的应用性实验，应用性实验学生分组完成。通过实验将理论知识与具体应用问题相结合，提高学生综合应用计算机

置实验作业完成，即使有的学校安排实验学时，实验内容也都是与课程知识点高度一致的验证性实验，内容单调且分散，不能做到理论与实际相结合。有些高校开设了分层次的实验教学，但实验目标与工程教育认证要求的结合性不强，没有注重与其他学科课程体系的融合^[6]。

3 课程实验教学设计原则

离散数学的实验设计总体原则是从纵向维度构建分层次的实验教学体系，从横向维度建立以离散数学实验教学为契机的计算机专业相关课程体系。同时融入了课程思政元素，为离散数学开展思政课程提供了素材。

3.1 分层次的实验教学体系

课程组多年来逐步构建了离散数学课程的分层次的实验教学体系，见图1。分为验证性实验、应用性实验和探究性实验三个层次，这三个层次的实验内容和能力培养的侧重点各不相同。

知识解决实际问题的能力，同时有助于学生形成完整的课程体系，知晓各门课程知识点之间的联系，培养学生的团队协作精神和工匠精神，全面提升学生的工程素养和职业素养。

(3) 探究性实验

探究性实验具有一定的难度和挑战性，与学科竞赛或教师的科研项目相结合，完成该类实验需要用到离散数学及后续课程基础知识，探究性实验需要更长的时间和更多的知识，学生一般通过参加学科竞赛和教师的科研项目来完成。培养学生运用离散数学相关知识进行数学建模和分析、解决问题的能力，是解决复杂工程问题很好的实践锻炼。

3.2 以实验内容为基础，构建完整的课程体系

以往传统的离散数学教学模式下，多数学生仅仅

学习了课程的基本理论和定义定理，体会不到其在实际问题中的应用价值，更无法理解其与计算机各学科之间的关系，导致学生学习兴趣不高，主动性不强，无法构建整个计算机学科的知识体系。因此，在离散数学的教学中应该注重理论和实践相结合，使学生在学生理论知识的同时，体会到离散模型在计算机领域解决实际问题的方式方法，对离散数学课程的认识跳出“纯理论”误区^[8]。

笔者结合各高校对离散数学教学改革的探索^[9-10]和自身的教学体会，以实验教学为抓手，对该课程的理论和实验教学进行了改革探索。在理论教学中，将离

散数学的相关理论知识与后续计算机专业课程，如数据结构、组成原理、数据库等的相关知识点相联系，通过解决实际问题的小例子，给学生渗透各个课程知识点的融合应用。在实验教学中，设计出将离散数学相关理论知识与其他课程相结合的实验题目，真正实现离散数学与后续课程在知识体系上的衔接，帮助学生构建自己的课程体系，见图2。课程体系的建立，不仅锻炼了学生的编程能力，加深了他们对离散数学理论知识的进一步理解，更培养了学生分析解决实际问题的能力，为他们参与创新创业项目、学科竞赛及后续参与到教师的科研项目中打下坚实的基础，同时为学生的职业规划指明了方向。

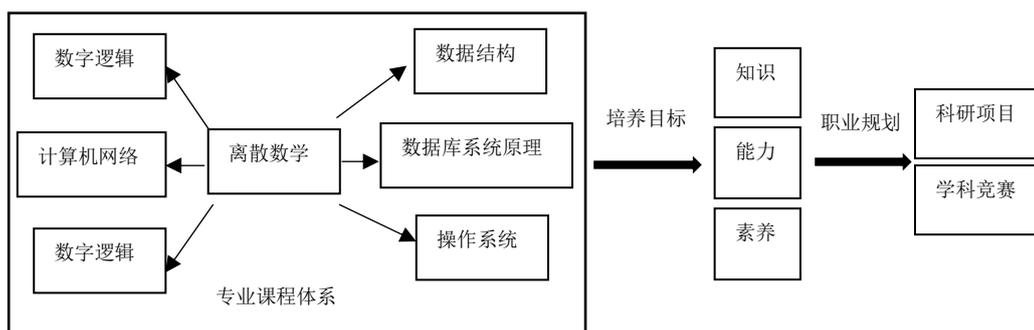


图 2 离散数学实验教学为核心的课程体系方案

表 1 基础性验证实验部分示例

章节	实验题目	实验内容
数理逻辑	求命题联结词的真值	求 $\neg P$ 、 $P \wedge Q$ 、 $P \vee Q$ 、 $P \rightarrow Q$ 、 P 的真值。
	命题公式相等验证	求一个命题公式的真值表；并判断两个命题公式是否相等。
	求命题公式的范式	求任意一个命题公式的主析取范式和主合取范式。
集合论	集合的运算	求 $A \cup B$ 、 $A \cap B$ 、 $A - B$ 、 $A \oplus B$ 。
	判断关系的性质	判断任意一个关系是否为自反、对称、传递关系；判断一个关系是否为等价关系，若是等价关系，求出其等价类。
	关系的闭包运算	利用关系矩阵求解有限集上给定关系的自反、对称闭包。利用Warshall算法求传递闭包。
图论	图的存储及表示	建立一个无向图的邻接矩阵并打印输出。
	欧拉图判定和应用	判断一个图是不是欧拉图，如果是，求出所有欧拉路。
	最优二叉树的应用	设计程序，要求输入一组通信符号的使用频率，求各通信符号对应的前缀码。
代数系统	代数系统的建立和判断	建立一个代数系统，包含二元运算，判断该代数系统是否为半群和群。

4 实验教学设计内容

4.1 验证性实验

离散数学理论知识包含数理逻辑、集合论、图论、代数系统四大部分，在数理逻辑部分设计了求命题联

结词的真值表、命题公式相等验证和求命题公式的范式等实验；在集合论部分设计了集合的运算、判断关系的性质、关系的闭包运算等实验；在图论部分设计了图的表示方法验证，欧拉图的判定、最优二叉树的应用等实验。在代数系统部分，设计了二元运算性质的验证以及半群、群的验证实验。基础验证性实验部分示例见表1。

4.2 应用性实验

这部分实验的设计初衷是将离散数学课程与计算机专业其他相关课程相衔接,帮助学生构建完整的课程体系^[11]。在教学过程中有意识的在课堂中结合后续计算机相关课程的内容,引入数学概念,讲解基本理论、基本方法和在计算机课程中的实际应用,让学生感受到数学与计算机的结合。例如,在数理逻辑部分与数字逻辑与数字系统、组成原理等课程相衔接,设计硬件电路;集合论部分与数据库原理、数据结构课程相衔接,求数据表的主键,利用哈斯图和拓扑排序解决排课问题。图论部分与操作系统课程相衔接,判定死锁现象;代数系统部分与计算机网络安全课程相衔接,分析校验码的纠错能力。应用性实验部分示例

见表2。

4.3 探究性实验

探究性实验与大学生创新创业竞赛项目、程序设计竞赛以及教师的科研项目联系在一起,实验内容来源于程序设计竞赛题目或教师科研项目中的一个模块。探究性实验对学生综合能力的要求较高,用时也更长,教师通过前面两个层次的实验,选拔出学有余力的学生。要求学生综合运用离散数学以及多学科知识,建立和选择合适的离散模型,设计出解决问题的算法并编程实现。这些实验作为开放性实验项目,不仅有利于培养学生将理论知识应用于工程实践的能力,也为学生参加程序设计竞赛和将来参与科研项目奠定了基础^[12]。

表 2 应用性实验部分示例

章节	实验题目	实验内容	关联的后续课程
数理逻辑	设计硬件电路	用化简命题逻辑公式的方法设计一个3人表决开关电路,要求2人及以上同意则表决通过。	数字逻辑与数字系统
	逻辑推理的应用	用命题逻辑推理的方法解决逻辑推理问题。	
集合论	求数据表的主键	给定数据表,通过求数据表中各数据项之间的关系闭包,从而求出数据表的主键。	数据库原理
	排课问题	给定各门课程之间的先后修读关系,画出课程关系的哈斯图,并编写程序实现拓扑排序算法,安排各门课程的开设顺序。	数据结构
图论	最短路径的应用	在给定的网络通信模型中,求从站点1到站点6的最短路径。	数据结构
	死锁现象的判定	给定四个进程P1、P2、P3、P4对四个资源R1、R2、R3、R4的占用情况,写程序判断是否发生死锁。	操作系统
代数系统	校验码的检错纠错能力分析	数据传输过程中,分析校验码的检错、纠错能力并得出分析结果。	网络安全

5 实验教学的实施方案

近几年为了适应工程教育认证对人才的毕业要求和培养目标,我校对离散数学等基础理论课程尝试着以多种形式引入实验教学。另一方面,针对工科专业理论课时的不断压缩,如何有效的将实验内容与理论知识有机结合起来,成为实验教学改革的主要方向。笔者根据近几年的教学经验,逐步建立起多维度、多层次的教學模式进行离散数学实验教学探索。

5.1 将实验内容引入课堂教学

在教学过程中不必从理论到解题,循规蹈矩的进行,而是强调理论联系实际,有意识地在课堂中结合后续计算机相关课程的内容,引入数学概念,讲解基本理论、基本方法和在计算机课程中的实际应用,启发学生应用课堂所学理论知识来分析和解决问题。例如在讲授集合论的关系闭包时,引入数据库原理中的

求数据表主键问题,让学生理解关系闭包运算在数据库原理课程中的应用。

5.2 在课后作业中增加上机实验题目

在备课过程中,教师挑选与离散数学实验内容相关的阅读资料,让学生提前预习。课上讲解理论知识的同时引入实验题目和要求,并将实验内容作为课后作业,让学生利用课余时间完成。这样不仅使学生在课上时间有限的前提下接触到了与理论知识相关的实际应用问题,同时帮助他们利用编程语言完成实验任务,从而更好的体会离散数学在解决实际问题中的应用价值。

5.3 充分利用实验课时

离散数学实验教学形成了实验课时为主,课堂教学、课后作业和网络教学平台为补充的多维度的实验教学体系。学生已经通过课堂讲授和网络教学补充了实验需要的相关知识,在课时相对较少的实验课上,

学生在教师的指导下，在机房完成分层实验体系中的第一层——验证性实验；并利用课后业余时间以小组为单位完成分层实验体系中的第二层——应用性实验，并为第三层次的探究性实验打下理论基础。

6 实验教学实施效果

我校计算机与网络空间安全学院承担着4个专业的400余名本科生的离散数学课程教学任务，课程组经过十多年的教学实践，从只注重理论教学，到探索多种形式的实验教学模式，取得了较好的教学效果。

6.1 符合认知事物的规律，学生满意度高

通过理论课上结合知识点讲解具体应用，实验课上进行上机实验，辅助课后完成实验任务，学生对理论知识的理解更加深入，进一步认识到离散数学课程与计算机专业其他课程之间的密切关系，培养了学生将理论知识应用于工程实践的能力，为培养目标和毕业要求打下基础。

表 3 2021-2023 学年学生评教成绩示意图

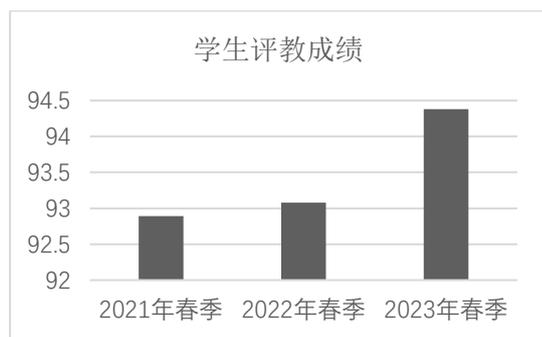


表3是课程组某任课教师近三年该课程的学生评教成绩示意图，其中2021年课程没有加入任何形式的实验环节，2022年在理论课程中加入了与其他后续课程内容相结合的实验内容，2023年在课后作业和学期末的实验周加入了上机实验题目，从学生评教成绩来看，学生对课程效果的满意度有不同程度的提高。

6.2 多课程相融合，学生形成了完整的课程体系

通过与学生的课后交谈和问卷调查等方式，了解到通过多种形式的实验教学环节，学生不再觉得知识点碎片化抽象化，也不再觉得不能学以致用。学生能将离散数学的理论知识与后续课程的知识点相衔接，形成了本专业完整的课程体系，激发了学生探索新知识的热情，培养了学生建立离散模型并解决工程实践问题的能力。

表4展示了该课程近三年的课程目标达成度的情况，从表中看出，无论对于课程目标1所提出的基础知

识的掌握，还是对于课程目标2所提出的应用能力和课程目标3所提出的知识素养的培养，都达到了满意的效果。实践表明，离散数学的实验教学模式实现了课程目标对工程认证所要求的培养目标和毕业要求的更好契合。

表 4 2021-2023 学年课程目标达成度情况

课程目标	2021年春季	2022年春季	2023年春季
课程目标1	0.76	0.81	0.82
课程目标2	0.81	0.82	0.80
课程目标3	0.83	0.83	0.81

6.3 为优秀学生参加竞赛和科研项目提供了机会

通过离散数学分层实验教学的第一、第二层次的实验训练，大部分学生得到了编程能力的锻炼，为第三层次——探究性实验环节发现人才打下坚实的基础。

一批学有余力的学生被选拔上来参加各类程序设计竞赛和参与到教师的科研项目中，拓展第二课堂，强化创新能力，以赛促学，以赛促教。学生参与各级大学生创新创业项目申报以及程序设计大赛、挑战杯、互联网+等学科竞赛热情高涨，并取得了越来越好的成绩。课程组教师近5年指导学生获中国大学生程序设计竞赛（CCPC）、国际大学生程序设计竞赛（ICPC）分站赛铜牌，天梯赛国赛团队二等奖，蓝桥杯国赛一等奖等。此外还获得其他各级各类程序设计竞赛国家三等奖以上74项，省级二等奖以上奖项145项。学生进入三年级后参与教师的科研项目6项，发表论文2篇，申报专利4项，为学生毕业后进入职场和进一步深造都打下坚实的理论和实践基础。

7 结束语

结合课程考核和反馈机制的定量分析数据与学生课堂反映和心得体悟的定性分析，教学改革效果已逐步显现。在实验教学内容上，横向维度的基于课程体系构建的实验教学内容，更加注重贴近工程实践和解决复杂工程问题，使学生初步形成本科完整的专业课程体系，契合工程教育认证对人才培养的要求。在实验教学方式上，纵向维度的分层实验教学方式，有效调动了不同水平的学生参与实验的积极性和创新性，增强了学生的团队协作和创新意识，对走上工作岗位和进一步深造打下重要的基础。实验课程教学改革的探索对推动本专业的工程教育认证工作及后续的持续改进起到了积极作用，也可为其他专业本科工程教育实验教学改革提供有益的参考。

参 考 文 献

- [1] 教育部高等教育司. 历年通过工程教育认证的普通高等学校本科专业名单[EB/OL]. [2023-03-24]. http://www.moe.gov.cn/s78/A08/tongzhi/202206/t20220629_641656.html.
- [2] 何坤. 新工科教育下离散数学教学内容改革[J], 计算机时代, 2022(5): 82-84, 88.
- [3] 陈业钢. 离散数学中的分层次实验教学研究[J], 计算机时代, 2014(9): 74-78.
- [4] 张艳华. 离散数学实验教学实践研究[J], 电脑知识与技术, 2019. 15(14): 70-71.
- [5] 张剑妹, 李艳玲, 郭咏梅, 王宝丽. 新工科教育下计算机专业离散数学实验教学研究[J], 运城学院学报, 2018, 36(6): 1-3.
- [6] 杨娟, 张冬梅, 邓芳. 基于 OBE 理念的离散数学课程教学设计与实践[J], 计算机技术与教育学报, 2021, 9(1): 43-45.
- [7] 王丽杰, 戴波. 成果导向的离散数学线上线下混合式课程建设, 计算机技术与教育学报, 2022, 10(5): 67-70.
- [8] 史哲文, 曹晓东. 数学之美与离散数学教学[J], 计算机教育, 2014(12): 64-67.
- [9] 屈婉玲, 王元元, 傅彦, 等. “离散数学”课程教学实施方案[J]. 中国大学教学, 2011(1): 41-43.
- [10] 师雪霖, 尤枫, 颜可庆. 离散数学教学联系计算机实践的探索[J]. 计算机教育, 2008(20): 113-115.
- [11] 罗芳, 郭小兵, 石兵. 工程教育认证背景下面向创新能力培养的程序设计课程群改革[J], 计算机教育, 2024(2): 31-35.
- [12] 苏婷, 薛睿, 王鸿鹏, 仇洁婷. 面向自主可控信息产业的计算机专业实验教学改革[J], 计算机技术与教育学报, 2023, 11(4): 77-80.